



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

**"Diseño de Tubería de Revestimiento y Cementación de un Pozo
en el Oriente Ecuatoriano"**

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO DE PETROLEO

Presentado por:

Mónica Del Rocío Sánchez Sánchez.

Pedro Andrés Peñafiel Arcos.

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009



D-90454

AGRADECIMIENTO

A Dios por el amor y las bendiciones que me da diariamente.

A mis maestros que con sus acertadas palabras supieron guiarme.

Y a todas las personas que de alguna forma colaboraron con el presente.

Mónica Sánchez.

DEDICATORIA

A mis Padres por ser luz de mi
vida.

Y especialmente a mis hermanas
por su cariño y apoyo.

Mónica Sánchez S.

AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros Xavier Vargas y Daniel Tapia por su colaboración en el desarrollo y organización de este trabajo.

A los diferentes profesores de esta prestigiosa universidad que han inculcado en mi respeto y dedicación.

A las diferentes personas que han ayudado en la realización de este documento.

Pedro Peñafiel A.

DEDICATORIA

A mis padres por la interminable ayuda y dedicación que me han demostrado en toda mi vida y que me ha permitido seguir adelante en todas las metas que me he propuesto.

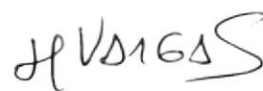
Pedro Peñafiel A.

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Gastón Proaño.

Sub DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Msc. Xavier Vargas G.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



MSC. Daniel Tapia F.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Trabajo Final de Graduación, nos corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

Mónica Sánchez S.

Pedro Peñafiel A.

RESUMEN



Este documento es un producto acordado dentro de las actividades de la materia de graduación “Diseño de Tuberías de Revestimiento y Cementación de pozos del Oriente Ecuatoriano” el cual tiene por fin mostrar de manera clara y organizada una alternativa para el diseño de tubería de revestimiento y cementación actual del pozo ESPOL X2-D, así como el mejoramiento de la calidad en servicios técnicos y operaciones de perforación en la industria petrolera.

En la primera parte presentamos un resumen del programa de perforación realizado en dicho pozo. Luego se realiza una síntesis de los procedimientos básicos más importantes para el diseño de revestidores explicándolos fácil y ordenadamente, estableciendo una metodología de diseño en el que se identifican cargas mínimas a considerarse, factores mínimos y cargas de diseño establecida por la A.P.I (estallido, colapso y tensión), aplicando el método de ensayo y error. Además se presenta los costos para realizar dicho proceso.

En la segunda parte del documento se presenta la cementación del pozo ESPOL X2-D y los cálculos para determinar los volúmenes y numero de sacos correspondientes para optimizar el proceso tanto técnica como

económicamente. También se presenta los costos para realizar dicha actividad.

Es muy importante resaltar que este tipo de procedimientos esta en constante evaluación y que los mismos pueden variar de acuerdo a causas o estudios debidamente soportados que impliquen una optimización del proceso.



Índice General

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. DESCRIPCIÓN DEL POZO SELECCIONADO.....	3
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	3
1.2. CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS DEL CAMPO DONDE SE ENCUENTRA UBICADO EL POZO.....	5
1.3. RESERVAS DEL CAMPO DONDE SE ENCUENTRA UBICADO ELPOZO.....	6
CAPITULO 2	
2. PERFORACION.....	7
2.1 PROGRAMA DE PERFORACIÓN.....	7

2.2 SECUENCIA DE PERACIONES.....	8
CAPITULO 3	
3. DISEÑO DEL CASING.....	10
3.1. DISEÑO DEL REVESTIMIENTO SUPERFICIAL 13 ^{3/8"}	11
3.2. DISEÑO DEL REVESTIMIENTO INTERMEDIO 9 ^{5/8"}	14
3.3. DISEÑO DEL LINER DE 7"	17
CAPITULO 4	
4. CEMENTACIÓN.....	22
4.1. CEMENTACIÓN DEL REVESTIMIENTO SUPERFICIAL	
13 ^{3/8"}	23
4.2. CEMENTACIÓN DEL REVESTIMIENTO INTERMEDIO	
9 ^{5/8"}	28
4.3. CEMENTACIÓN DEL LINER DE 7"	33
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

FF	Factor de Flotación
Fig.	Figura
L	Longitud total
Ph.	Presión Hidrostática
Pc.	Presión de colapso
Pe.	Presión de estallido.
Pf.	Presión de formación
Rc	Resistencia al colapso
Wtr.	Peso de la tubería.
MD	Medición Verdadera
TVD	Medición Vertical
GPM	Galones por minuto
Lpg	Libras por galón

FSC	Factor de Seguridad Colapso
GRc	Gradiente de Colapso
Rt	Resistencia a la Tensión
Re	Resistencia al Estallido
FSE	Factor de seguridad Estallido
BPM	Barriles por minute
Bls	Barriles



INTRODUCCION

La selección apropiada de las tuberías de revestimiento es uno de los aspectos más importantes en la programación, planificación y operaciones de perforación de pozos. La capacidad de la sarta de revestimiento seleccionada para soportar las presiones y cargas para una serie dada de condiciones de operación, es un factor importante en la seguridad y economía del proceso de perforación y en la futura vida productiva del pozo.

El objetivo general del presente trabajo es realizar el diseño de las diferentes tubería de revestimiento y cementación del pozo ESPOL X2-D siguiendo todas las especificaciones técnicas y económicas utilizadas en el área petrolera para este tipo de procesos, y a su vez presentarlo como una alternativa al diseño actual.

Se proporciona una metodología práctica para diseñar y ejecutar cementaciones primarias de tuberías de revestimiento que reduzcan tiempos y costos en los cambios de etapa de perforación, por lo que este documento

servirá como guía para conocer los diferentes cálculos y consideraciones que se deben tener en este tipo de diseños en pozos del Oriente Ecuatoriano.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia del presente trabajo esta en mostrar una optimización como alternativa del diseño de la tubería de revestimiento y cementación de un pozo petrolero en el oriente ecuatoriano. Dado que este procedimiento esta en constante evaluación la presente tiene como fin dar un beneficio a los presentes inconvenientes que se presenten en una vida futura del pozo, dejando una puerta abierta para futuras investigaciones.

CAPITULO 1



1. DESCRIPCIÓN DEL POZO SELECCIONADO

1.1. Ubicación Geográfica

El pozo ESPOL X2-D esta ubicado dentro de un área que esta localizada en la Región Amazónica, provincia de Orellana, parroquia Dayuma; como punto de referencia se mencionan los recintos Nueva Unión y San Pedro.

Esta área hidrocarburífera que posee una franja de territorio de aproximadamente 92km² situado al sur de la ciudad del coca, es una de las cinco grandes áreas de Petroproducción.

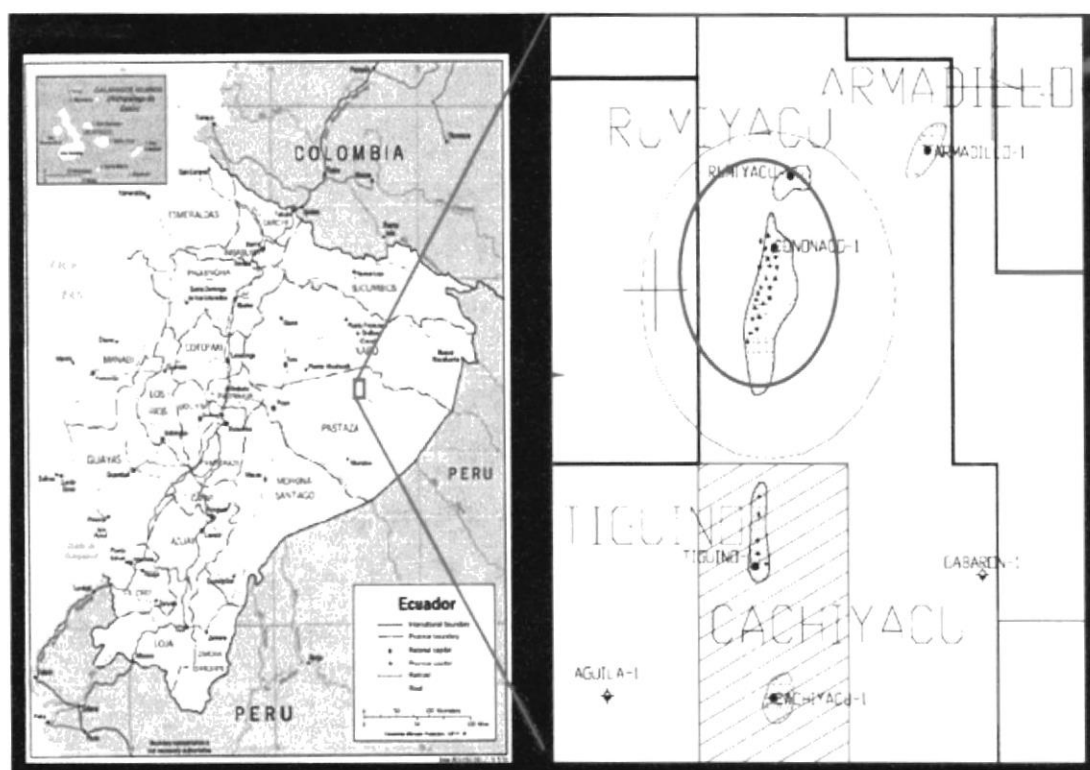


FIG.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL POZO ESPOL X2-D. GRAFICA OBTENIDA DEL INFORME QUE LA EMPRESA DE SERVICIOS PROPORCIONA A LA OPERADORA.

Estructuralmente es una cuenca que resulto de fenómenos transgresivos desde el cretácico terminal, este campo pertenece al corredor Sacha-

1.2. Características Petrofísicas del Campo donde se encuentra ubicado el pozo.

En todo el campo, la calidad del petróleo es de tipo bajo saturado con un punto de burbujeo muy bajo; variando de 126psi hasta 630psi por presiones iniciales comprendidas entre 3600 y 4500psi según los yacimientos.

TABLA 1.1 CARACTERISTICAS PETROFISICAS

Arena	H	HS	U	BT
Pb(psi)	126	175	200	630
T(°F)	220	136	185	180
°API	32.4	32.4	17.3	21.1
GOR(Scf/Bbl)	9	12	50	116
Bo (Rb/Bbl)	1.1623	1.1525	1.2302	1.1547
SG oil	0.8092	1.244	1.402	1.145
K(md)	104	185	756	250
Ø (%)	14	15	16	14

ELABORADA POR AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.

La densidad del petróleo cambia en promedio de 17.3°API en el Napo “U” hasta 32.4° API en el Hollín. Actualmente el campo produce de las formaciones Hollín, Napo “T”, Napo “U” y Basal Tena.

1.3. Reservas del campo donde se encuentra ubicado el pozo.

La tabla siguiente muestra en detalle las reservas originales, el petróleo producido y las reservas remanentes por arena.

TABLA 1.2 RESERVAS DEL CAMPO

Yacimiento	Reservas Orig.(bbl)	Np (dic.2003)(bbl)	Reservas Reman.(bbl)
Basal Tena	25'935.000	6'288.399	19'646.601
Napo “U”	85'977.000	49'613.419	33'763.581
Napo “T”	106'240.000	47'763.721	53'960.279
Hollín	139'242.000	68'440.151	55'587.849
Total	357'178.000	176'031.700	158'646.300

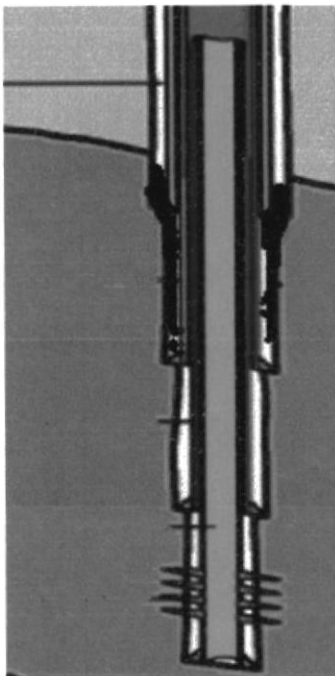
ELABORADA POR AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.

CAPITULO 2

2. PERFORACION



2.1 Programa de Perforación



El revestimiento de 13 3/8" se sentará 202'MD dentro de la formación Orteguaza.

Sección de 12 1/4", la trayectoria continuará vertical hasta sentar el revestimiento de 9 5/8" a 9,638'MD, 100'MD arriba del tope de Napo.

Sección de 8 1/2", donde se mantendrá vertical atravesando los objetivos U Inferior, T Inferior y Hollín Inferior en las mismas coordenadas. La profundidad total propuesta es de 11102 MD.

FIG 2.1 ESQUEMA DE PERFORACION. AUTORES

2.2 Secuencia De Operaciones

Hoyo de 16" y Revestimiento de 13 3/8" (40' MD – 6685' MD)

Limpiar revestidor de 20" hasta 40' MD, perforar una sección de 6845ft como sigue:

- Se perfora con broca triconica desde 40 MD con flujo controlado máximo 250 GPM hasta 250' incremental caudal hasta 800 GPM y perforar hasta 500ft.
- Perforar con la broca de 16" PDC desde 500ft MD hasta 5000ft kick off point (KOP) a 500ft, construyendo ángulo de 2°/100' hasta alcanzar 23.48° a 1674'MD en una dirección de 202.026° de azimut. Perforar manteniendo tangente hasta 2500'.
- Continuar perforando tangencialmente hasta 2929.5'MD luego perforar permitiendo tumbar ángulo con un DLS de 1°/100' hasta verticalizar a 5287.5'MD.
- Continuar perforando verticalmente hasta 6885.5 MD a esta profundidad se deberá mantener caudales altos entre 800 y 900 GPM.
- Bajar revestidor de 13 3/8" C-95,72 lb/ft BTC.

Hoyo de 12^{1/4"} y Revestimiento de 9^{5/8"} (6885MD – 9638MD)

- Perforar con broca de 12^{1/4"} PDC el collar y cemento hasta 10ft antes del zapato flotador. Continuar perforando cemento, zapato flotador y 10ft de formación. Continuar perforando verticalmente hasta 8095MD Incrementar flujo particularmente hasta tener 800-900'GPM antes de ingresar a Tituyacu.
- Perforar verticalmente hasta aproximadamente 9055MD bajo el tope de Tena. Con broca de 12^{1/4"}PDC perforar verticalmente hasta el punto del casing a 9638MD cada 100 ft sobre el tope de napo estimado dentro de la formación Tena a caudales altos entra 800-900 GPM.
- Bajar revestidor de 9^{5/8"}, C-75, 53.5lb/ft, BTC.

Hoyo de 8^{1/2"} y Revestimiento de 7" (9638 md-11102 md)

- Perforar con broca 8^{1/2"} PDC el landing collar y cemento hasta 10ft antes de llegar al zapato flotador. Continuar perforando cemento, zapato flotador y 10 ft de formación.
- Perforar verticalmente hasta aproximadamente 10350ft MD, perforar incrementando gradualmente el flujo hasta aproximadamente 11102 ft TMD. Realizar corrida de registros

eléctricos con wireline. Realizar corrida de registros eléctricos con wireline:

1ra corrida: HRAI-MSFL-MEL-ISAT-SDL-PE-DSN-GR

2da corrida: MSFL-DLL-GR-SP

- Bajar tubería de revestimiento de 7", N-80, 29 lb/ft.



CAPITULO 3

3. DISEÑO DEL CASING

Según Sergio Gándara en su tesis "Diseño de Tuberías de Revestimiento", La Tubería de Revestimiento constituyen el medio con el cual se reviste el agujero que se va perforando, con ello se asegura el éxito de las operaciones llevadas a cabo durante las etapas de perforación y terminación del pozo.

Para diseñar tubería de revestimiento deben conocerse los esfuerzos a la cual estará sometida y las diferentes características del tipo de tubería a usarse.

Al introducir una tubería en el hueco, estará sometida simultáneamente a tres esfuerzos principales, los cuales son:

- a) Esfuerzo a la Tensión
- b) Esfuerzo al Colapso
- c) Esfuerzo al Estallido

A continuación se realiza el diseño de las diferentes secciones de tuberías de revestimiento aplicando el método de ensayo y error, el cual consiste en establecer las diferentes esfuerzos que soportan las tuberías en el pozo (Tension, Colapso y Estallido) y determinar que tipo de tubería soporta las mismas en cada sección de revestimiento. Primero se realiza el análisis tomando en cuenta la presión de Colapso, luego se procede a diseñar por Tensión y finalmente por Estallido.

3.1. Diseño del Revestimiento Superficial 13^{3/8"}

Datos del pozo:

Profundidad de asentamiento = 6685 ft (MD) // 6483 ft (TVD)

Longitud de la sección = 6645 ft (MD)

Diámetro de la tubería = 13^{3/8"}

Densidad del lodo de perforación (ρ_f) = (8.8 – 10.1) lpg

Factores de Seguridad: Tensión = 1.8

Colapso = 1.125

Estallido = 1.05

Rosca Utilizada: Buttress

1) Determinar todos los factores que intervienen en el diseño.

a.- $P_h = 0.052 \times \text{Densidad del lodo de perforación} \times \text{Profundidad}$

$$= 0.052 \times 10.1 \text{ lpg} \times 6483 \text{ ft} = 3404.87 \text{ lppc}$$

b.- Presión al colapso = $P_c = P_h \times \text{FSC} = 3404.87 \text{ lppc} \times 1.125 = 3830.48 \text{ lppc}$

c.- $P_s = P_h = 3404.87 \text{ lppc}$ Generalmente se usa la presión de superficie igual a la presión hidrostática en el fondo del pozo.

d.- Gradiente de colapso = $\text{GRc} = P_c / \text{Profundidad} = 3830.48 \text{ lppc} / 6483 \text{ ft}$

$$\text{Grc} = 0.591 \text{ lppc /ft}$$

- 2) Determinar que tipo de tubería resiste la presión al colapso encontrada (3830.48 lppc).**

Según la Tabla correspondiente (Ver Anexo 3) la única tubería aprobada por la API que mas acerca a esta Presion es la C-95 de 72 lb/ft, ya que presenta una resistencia al colapso de $R_c = 2820$ lppc. En este caso tenemos que:

$$R_c < P_c$$

- 3) Determinar si la Tubería seleccionada se la puede instalar hasta superficie.**

Peso de la tubería hasta superficie = W_{tr} = Profundidad x Peso de la tubería

$$= 6645 \text{ ft} \times 72 \text{ lb/ft}$$

$$= 478440 \text{ lb}$$

Resistencia a la Tensión verdadera de la tubería = Resistencia a la Tensión según la Tabla correspondiente (Ver anexo 3) / Factor de seguridad a la Tensión

$$R_t = 1893000 \text{ lb} / 1.8 = 1051666.67 \text{ lb}$$

$$R_t > W_{tr}$$

Por lo tanto la Tubería C-95 de 72 lb/ft se la puede correr hasta superficie.

4) Determinar si la Tubería seleccionada resiste por Estallido.

Según la Tabla correspondiente (Ver anexo 3) la tubería tiene una resistencia al Estallido de 6390 lppc.

Resistencia verdadera al estallido = 6390 lppc / Factor de seguridad al estallido (1.05)

$$Re = 6085.71 \text{ lppc}$$

Comparamos con Ph: $Re > Ph$ (2966.62 lppc)

Por lo tanto la tubería resiste a la presión de Estallido presentada en superficie.

3.2. Diseño del Revestimiento Intermedio 9^{5/8}”

Datos del pozo:

Profundidad de asentamiento = 9100 ft (MD) // 8898 ft (TVD)

Longitud de la sección: 9060 ft

Diámetro de la tubería = 9^{5/8}”

Densidad del lodo de perforación (ρ_f) = 10.3 lpg

Densidad del lodo de completación (ρ_c) = 7.5 lpg

Factores de Seguridad: Tensión = 1.8

Colapso = 1.125

Estallido = 1.05

Rosca Utilizada: Buttress

1) Determinar todos los factores que intervienen en el diseño.

a.- $Ph = 0.052 \times \text{Densidad del lodo de perforación} \times \text{Profundidad}$

$$= 0.052 \times 10.3 \text{ lpg} \times 8898 \text{ ft} = 4765.77 \text{ lppc}$$

b.- Presión al colapso = $P_c = Ph \times FSC = 4765.77 \text{ lppc} \times 1.125 = 5361.49 \text{ lppc}$

c.- $P_s = Ph = 4765.77 \text{ lppc}$

d.- Gradiente de colapso = $GR_c = P_c / \text{Profundidad} = 5361.49 \text{ lppc} / 8898 \text{ ft}$

$$GR_c = 0.60255 \text{ lppc /ft}$$

$$e.- D_x = \frac{P_s - \frac{R_e}{FSE}}{0.052 (\rho_p - \rho_c)} = \frac{4765.77 - \frac{R_e}{1.05}}{0.052 (10.3 - 7.5)}$$

- 2) Determinar que tipo de tubería resiste la presión al colapso encontrada (5361.49 lppc).**

Según la Tabla correspondiente (Ver Anexo 2) la tubería seleccionada en este caso, que resiste la presión al colapso, es la C-75 de 53.5 lb/ft, ya que presenta una resistencia al colapso de $R_c = 6380$ lppc.

$$R_c > P_c$$

- 3) Determinar si la Tubería seleccionada se la puede instalar hasta superficie.**

Peso de la tubería hasta superficie = W_{tr} = Profundidad x Peso de la tubería

$$= 9100 \text{ ft} \times 53.5 \text{ lb/ft} = 486850 \text{ lb}$$

Resistencia a la Tensión verdadera de la tubería = Resistencia a la Tensión según la Tabla correspondiente (Ver anexo 2) / Factor de seguridad a la Tensión

$$R_t = 1257000 \text{ lb} / 1.8 = 698333.33 \text{ lb}$$

$$R_t > W_{tr}$$

Por lo tanto la Tubería de 9 5/8", C-75 de 53.5 lb/ft, BTC se la puede correr hasta superficie.

4) Determinar si la Tubería seleccionada resiste por Estallido.

Según la Tabla correspondiente (Ver anexo 2) la tubería tiene una resistencia al Estallido de 7430 lppc. A continuación determinamos hasta que profundidad puede ser instalada la tubería:

$$D_x = \frac{4765.77 - \frac{7430}{1.05}}{0.1456} = -15868.27 \text{ ft}$$

Por lo tanto la tubería resiste a la presión de Estallido presentada en superficie.

3.3. Diseño del LINER DE 7"

Datos:

Profundidad de asentamiento = 11102 ft (MD) // 10900 ft (TVD)

Longitud de la sección = 2202 ft

Diámetro de la tubería = 7

Densidad del lodo de perforación (ρ_f) = 10.3 lpg

Densidad del lodo de completación (ρ_c) = 7.5 lpg

Factor de Seguridad: Colapso = 1.125

Rosca Utilizada: Buttress

1) Determinar todos los factores que intervienen en el diseño.

a.- $Ph = 0.052 \times \text{Densidad del lodo de perforación} \times \text{Profundidad}$

$$= 0.052 \times 10.3 \text{ lpg} \times 10900 \text{ ft} = 5838.04 \text{ lppc}$$

b.- $\text{Presión al colapso} = Pc = 5838.04 \text{ lppc} \times 1.125 = 6567.8 \text{ lppc}$

d.- $\text{Gradiente de colapso} = GRc = Pc / \text{Profundidad} = 6567.8 \text{ lppc} / 10900 \text{ ft}$

$$Grc = 0.60255 \text{ lppc /ft}$$

2) Determinar que tipo de tubería resiste la presión al colapso encontrada (6567.8lppc).

Según la Tabla correspondiente (Ver Anexo 1) la tubería seleccionada en este caso, que resiste la presión al colapso, es la N-80 de 29 lb/ft, ya que presenta una resistencia al colapso de $Rc = 7020 \text{ lppc}$.

$$Rc > Pc$$

Debido a que se trata solo de una tubería colgada de una profundidad que va desde 9638 ft hasta 11102 ft (1040 ft), tomamos en cuenta solo la Presión de colapso en el fondo como factor a ser evaluado.

Diseño Final de las Tuberías de revestimiento del pozo ESPOLX2-D

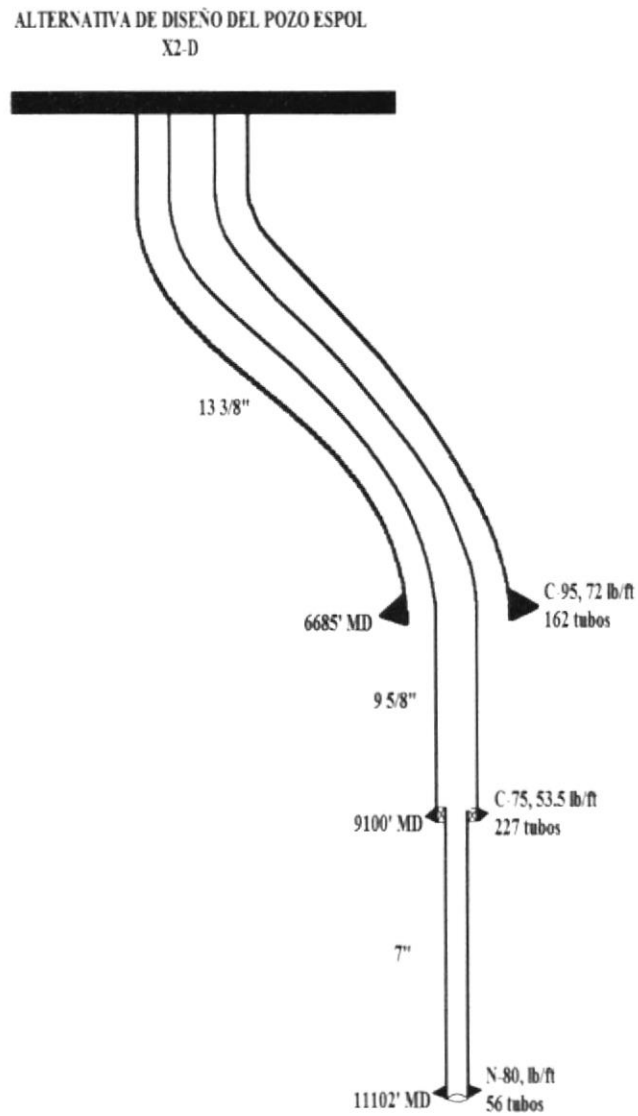


Fig. 3.1 Grafico de la alternativa presentada para el diseño del pozo. Autores.

TABLA 3.1 ALTERNATIVA DE PROGRAMA DE REVESTIDORES

Tipo de Revestidor	Grado	Peso (lb/ft)	Rosca	Profundidad de Asentamiento (ft) (MD)	Longitud de la sección (ft)	Numero de tubos
Superficial	C-95	72	Butress	6685	6645	162
Intermedio	C-75	53.5	Butress	9100	9060	227
Liner	N-80	29	Butress	11102	2202	56

ELABORADA POR LOS AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.

TABLA 3.2 PROGRAMA DE REVESTIDORES ACTUAL

Tipo de Revestidor	Grado	Peso (lb/ft)	Rosca	Profundidad de Asentamiento (ft) (MD)	Longitud de la sección (ft)	Numero de tubos
Superficial	C-95	72	Butress	6685	6645	162
Intermedio	C-95	47	Butress	9638	9598	240
Liner	c-95	26	Butress	11102	1664	42

ELABORADA POR LOS AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.

TABLA 3.3 COSTOS DE LA ALTERNATIVA PRESENTADA

Tipo de Revestidor	Longitud de la sección (ft)	Grado de Tubería	Costo por pie de cada sección	Costo Total de cada sección
Superficial	6645	C-95 (72#)	\$123.26	\$819062.7
Intermedio	9060	C-75 (53.5#)	\$58.76	\$532365.6
Liner	2202	N-80 (29#)	\$32.53	\$71631.06

Costo Total \$1423059.36

ELABORADA POR LOS AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.

TABLA 3.4 COSTOS DEL DISEÑO ACTUAL

Tipo de Revestidor	Longitud de la sección (ft)	Grado de Tubería	Costo por pie de cada sección	Costo Total de cada sección
Superficial	6645	C-95 (72#)	\$123.26	\$819062.7
Intermedio	9598	C-95 (47#)	\$83.13	\$797881.74
Liner	1664	C-95 (26#)	\$45.99	\$76527.36

Costo Total \$ 1693471.8

ELABORADA POR LO AUTORES, SEPTIEMBRE DEL 2009.



CAPITULO 4

4. CEMENTACIÓN

Según el Ing. Salvador I. Nájera Romero en el curso de Perforación de Pozos, Quito 2003, la cementación de pozos petroleros es el proceso mediante el cual se mezcla una lechada de cemento y agua para bombearla al fondo del pozo a través de la tubería de revestimiento.

Esta operación conocida como cementación primaria, requiere una adecuada planeación para seleccionar los sistemas de cemento y fluidos lavadores y espaciadores que deberán emplearse, así como para definir las condiciones de desplazamiento de estos sistemas para obtener una buena adherencia entre las fases formación-cemento-tubería y asegurar un sello efectivo que aisle las diferentes capas geológicas y que soporte las tuberías.

Los principales parámetros que se consideran para este tipo de procesos son el diámetro del hueco, diámetro externo e interno, longitud a cementar y tipo de cemento que se va a utilizar en cada sección de revestimiento.

A continuación se presenta el diseño:



FIG.4.1 PREPARACIÓN DE CEMENTO TIPO G, EN LABORATORIO DE B.J SERVICES. FOTOGRAFÍA TOMADA EN PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES.

4.1. Cementación del Revestimiento Superficial 13^{3/8}''

Datos Generales:

Diámetro del hueco = $\Phi_a = 16''$

Diámetro externo de la tubería = $\Phi_{ext} = 13^{3/8}''$

Diámetro interno de la tubería = Φ_{int} = 12,347 pulg

Longitud de la tubería = 6645 ft

Distancia entre el zapato guía y el collar flotador = 40 ft

Cemento utilizado = Tipo A

Densidad del cemento = 13.5 lbs. /gal

Rendimiento por saco de cemento = 1.73 ft³/saco

Requerimiento de agua = 9.10 gal/sac

Desarrollo:

1) Volumen de la lechada

$$\text{Volumen de la lechada} = \frac{(\Phi_a^2 - \Phi_{ext}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada} = \frac{(16^2 - 13.375^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 6645 = 2795 \text{ ft}^3$$

2) Numero de sacos

Numero de sacos = Volumen de la lechada / rendimiento por saco

$$= 2795 \text{ ft}^3 / 1.73 \text{ ft}^3/\text{saco} = 1616 \text{ sacos}$$

1616 sacos + 25% de exceso por seguridad = 2020 sacos

Por criterio se utiliza el 80% para la lechada de relleno y el 20% para la lechada de cola. Por lo tanto el número de sacos para cada lechada es:

2020 sacos x 0.80 = 1616 sacos para la lechada de relleno

2020 sacos x 0.20 = 404 sacos para la lechada de cola

3) Volúmenes a utilizar

a.- Lechada de relleno, densidad del cemento 13.5 lbs/gal

$1616 \text{ sacos} \times 1.73 \text{ ft}^3/\text{saco} = 2796 \text{ ft}^3 / 5.615 = 498 \text{ bbls}$

$1616 \text{ sacos} \times 9.10 \text{ gal/saco} = 14705.6 \text{ gal} / 42 = 351 \text{ bbls}$ requeridos de agua

b.- Lechada de cola (densidad del cemento = 15.6 lbs/gal; rendimiento por saco = $1.18 \text{ ft}^3/\text{saco}$; requerimiento de agua = 5.20 gal/saco)

$404 \text{ sacos} \times 1.18 \text{ ft}^3/\text{saco} = 476.72 \text{ ft}^3 / 5.615 = 85 \text{ bbls}$

$404 \text{ sacos} \times 5.20 \text{ gal/saco} = 2100.8 \text{ gal} / 42 = 50 \text{ bbls}$ requeridos de agua

4) Volumen de desplazamiento

Volumen de desplazamiento = $(\Phi_{int}^2/1029.4) \times 5.615 \times (\text{Longitud de la tubería} - \text{Distancia entre el zapato guía y el collar flotador})$

Volumen de desplazamiento = $(12.347^2/1029.4) \times 5.615 \times (6645 - 40) = 5493 \text{ ft}^3$

$5493 \text{ ft}^3 / 5.615 = 979 \text{ bbls de lodo}$

5) Orden de Bombeo

- a.- Colchón lavador 5 BPM 40 Bls
- b.- Lechada relleno 7 BPM 498 Bls
- c.- Lechada cola 5 BPM 85 Bls
- d.- Vol. Desplaz 15 BPM 979 Bls lodo

Colocar 11 centralizadores

6) Secuencia Operacional

- a) Probar líneas de superficie con 3000 psi por 10 min
- b) Colocar TAPON DE FONDO (ROJO) y TAPON DE DESPLAZAMIENTO (NEGRO) en cabezal cementación.
- c) Bombear 5 Bls agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) x línea inferior
- d) Bombear 15 Bls agua por línea inferior a +/- 5 BPM

- e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 7 BPM por línea inf (1616 sacos de cemento a 13.5 lb/gal ---- 498 Bls)
- f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inf (404 sacos de cemento a 15.6 lb/gal ----- 85 Bls)
- g) Soltar TAPON DE DESPLAZAMIENTO (quitar seguro). Cerrar línea inf y abrir línea superior.
- h) Desplazar con 979 Bls lodo (x línea sup) a +/- 15 BPM
- i) Asentar TAPON DE DESPLAZAMIENTO con +/- 1500 psi y observar retorno de cemento por zaranda.
- j) Mientras se desplaza, reciprocarse TR lentamente. Sacar presión y verificar back flow (contraflujo)
- k) Finaliza operaciones. Observar Bls retornados por zaranda y Bls reversados en tks de camión (back flow)
- l) Esperar fraguado por 12 horas

7) Accesorios a utilizar

1 zapato guía 13^{3/8"}, 1 collar flotador 13^{3/8"}, 1 caja suelda fría, 1 TAPON FONDO (ROJO) 13^{3/8"}, 1 TAPON DESPLAZ (NEGRO) 13^{3/8"}, 11 centralizadores 13^{3/8"}, 1 stop ring 13^{3/8"}.

4.2. Cementación del Revestimiento Intermedio 9^{5/8}''

Datos Generales:

Diámetro del hueco = $\Phi_a = 12 \frac{1}{4}$ ''

Diámetro externo de la tubería = $\Phi_{ext} = 9^{5/8}$ ''

Diámetro interno de la tubería = $\Phi_{int} = 8.535$ pulg

Diámetro interno del revestimiento superficial = $\Phi_{int \text{ sup}} = 12.347$ pulg

Longitud de la tubería = 9060 ft

Distancia entre el zapato guía y el collar flotador = 40 ft

Cemento utilizado = Tipo A

Densidad del cemento = 13.5 lbs/gal

Rendimiento por saco de cemento = 1.73 ft³/saco

Requerimiento de agua = 9.10 gal/saco

Desarrollo:

1) Volumen de la lechada

Primera parte: desde 40 ft hasta 6685ft (MD)

$$\text{Volumen de la lechada 1} = \frac{(\Phi_{\text{int sup}}^2 - \Phi_{\text{ext}}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada 1} = \frac{(12.347^2 - 9.625^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 6645 = 2167.8 \text{ ft}^3$$

Segunda parte: desde 6685 ft (MD) hasta 9100 ft (MD)

$$\text{Volumen de la lechada 2} = \frac{(\Phi_a^2 - \Phi_{\text{ext}}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada 2} = \frac{(12.25^2 - 9.625^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 2415 \text{ ft} = 756.4 \text{ ft}^3$$

Volumen Total = Volumen lechada 1 + Volumen de lechada 2

$$= 2167.8 \text{ ft}^3 + 756.4 \text{ ft}^3 = 2924.2 \text{ ft}^3$$

2) Numero de sacos

Numero de sacos = Volumen de la lechada / rendimiento por saco

$$= 2924.2 \text{ ft}^3 / 1.73 \text{ ft}^3/\text{saco} = 1690.3 \text{ sacos}$$

1690.3 sacos + 25% de exceso por seguridad = 2113 sacos

Por criterio se utiliza el 80% para la lechada de relleno y el 20% para la lechada de cola. Por lo tanto el número de sacos para cada lechada es:

$$2113 \text{ sacos} \times 0.80 = 1691 \text{ sacos para la lechada de relleno}$$

$$2113 \text{ sacos} \times 0.20 = 422 \text{ sacos para la lechada de cola}$$

3) Volúmenes a utilizar

a.- Lechada de relleno, densidad del cemento 13.5 lbs/gal

$$1691 \text{ sacos} \times 1.73 \text{ ft}^3/\text{saco} = 2925.43 \text{ ft}^3 / 5.615 = 521 \text{ bbls}$$

$$1691 \text{ sacos} \times 9.10 \text{ gal/saco} = 15388.1 \text{ gal} / 42 = 367 \text{ bbls requeridos de agua}$$

b.- Lechada de cola (densidad del cemento = 15.6 lbs/gal; rendimiento por saco = 1.18 ft³/saco; requerimiento de agua = 5.20 gal/saco)

$$422 \text{ sacos} \times 1.18 \text{ ft}^3/\text{saco} = 498 \text{ ft}^3 / 5.615 = 89 \text{ bbls}$$

$$422 \text{ sacos} \times 5.20 \text{ gal/saco} = 21944 \text{ gal} / 42 = 53 \text{ bbls requeridos de agua}$$

4) Volumen de desplazamiento

Volumen de desplazamiento = $(\Phi_{int}^2/1029.4) \times 5.615 \times (\text{Longitud de la tubería} - \text{Distancia entre el zapato guía y el collar flotador})$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de desplazamiento} &= (8.535^2/1029.4) \times 5.615 \times (9060 - 40) \\ &= 3584.1 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$3584.1 \text{ ft}^3 / 5.615 = 638 \text{ bbls de lodo}$$

5) Orden de Bombeo

a.- Colchón lavador 5 BPM 40 Bls

b.- Lechada relleno 7 BPM 521 Bls

c.- Lechada cola 5 BPM 89 Bls

d.- Vol. Desplaz 15 BPM 638 Bls lodo

Colocar 15 centralizadores

6) Secuencia operacional

a) Probar líneas de superficie con 3000 psi por 10 min

b) Colocar TAPON DE FONDO (ROJO) y TAPON DE DESPLAZAMIENTO (NEGRO) en cabezal cementación.

c) Bombear 5 Bls agua (si tapón de fondo no baja por sí solo) x línea inferior

- d) Bombear 15 Bls agua por línea inferior a +/- 5 BPM
- e) Mezclar y bombear lechada relleno a +/- 7 BPM por línea inf
(1691 sacos de cemento a 13.5 lb/gal ---- 521 Bls)
- f) Mezclar y bombear lechada cola a +/- 5 BPM por línea inf (422
sacos de cemento a 15.6 lb/gal ----- 89 Bls)
- g) Soltar TAPON DE DESPLAZAMIENTO (quitar seguro). Cerrar
línea inf y abrir línea superior.
- h) Desplazar con 677 Bls lodo (x línea sup) a +/- 15 BPM
- i) Asentar TAPON DE DESPLAZAMIENTO con +/- 1500 psi y
observar retorno de cemento por zaranda.
- j) Mientras se desplaza, reciprocarse TR lentamente. Sacar presión
y verificar back flow (contraflujo)
- k) Finaliza operaciones. Observar Bls retornados por zaranda.
- l) Esperar fraguado por 12 horas

7) Accesorios a utilizar

1 zapato guía 9^{5/8"} , 1 collar flotador 9^{5/8"}, 1 caja suelda fría, 1
TAPON FONDO (ROJO) 9^{5/8"}, 1 TAPON DESPLAZ (NEGRO) 9^{5/8"},
15 centralizadores 9^{5/8"}, 1 stop ring 9^{5/8"}.

4.3. Cementación del Liner de 7"

Datos Generales:

Diámetro del hueco = $\Phi_a = 8^{1/2}$ "

Diámetro externo de la tubería = $\Phi_{ext} = 7$ "

Diámetro interno de la tubería = $\Phi_{int} = 6.184$ pulg

Diámetro interno del revestimiento intermedio = $\Phi_{int\ inter} = 8.535$ pulg

Longitud de la tubería = 2202 ft

Diámetro externo del drill pipe = $\Phi_{ext\ drill} = 5$ pulg

Diámetro interno del drill pipe = $\Phi_{int\ drill} = 4.276$ pulg

Distancia entre el zapato guía y el collar flotador = 40 ft

Cemento utilizado = Tipo G

Densidad del cemento = 15.8 lbs/gal

Rendimiento por saco de cemento = 1.14 ft³/saco

Requerimiento de agua = 5.0 gal/saco

Desarrollo:**1) Volumen de la lechada**

Primera parte: 200 ft por encima del colgador de 9^{5/8"}

$$\text{Volumen de la lechada 1} = \frac{(\Phi_{\text{inter}}^2 - \Phi_{\text{ext drit}}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada 1} = \frac{(8.535^2 - 5^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 200 \text{ ft} = 52.2 \text{ ft}^3$$

Segunda parte: desde el colgador de 9^{5/8"} ubicado a 200 ft por encima del zapato guía del revestimiento intermedio hasta 9100 ft.

Volumen de la lechada 2

$$= \frac{(\Phi_{\text{inter}}^2 - \Phi_{\text{ext}}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada 2} = \frac{(8.535^2 - 7^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 200 = 26 \text{ ft}^3$$

Tercera parte: desde 9100 ft hasta 11102 ft.

$$\text{Volumen de la lechada 3} = \frac{(\Phi_a^2 - \Phi_{\text{ext}}^2)}{1029.4} \times 5.615 \times \text{Longitud de la tubería}$$

$$\text{Volumen de la lechada 3} = \frac{(8.5^2 - 7^2)}{1029.4} \times 5.615 \times 2002 \text{ ft} = 254 \text{ ft}^3$$

Volumen Total = Volumen lechada 1 + Volumen de lechada 2 +

Volumen de la lechada 3 = $52.2 \text{ ft}^3 + 26 \text{ ft}^3 + 254 \text{ ft}^3 = 332.2 \text{ ft}^3$

2) Numero de sacos

Numero de sacos = Volumen de la lechada / rendimiento por saco

$$= 332.2 \text{ ft}^3 / 1.14 \text{ ft}^3/\text{saco}$$

$$= 291.4 \text{ sacos} + 10\% \text{ de exceso por seguridad} =$$

Numero de sacos = 321 sacos

Por criterio se utiliza el 80% para la lechada de relleno y el 20% para la lechada de cola. Por lo tanto el número de sacos para cada lechada es:

$$321 \text{ sacos} \times 0.80 = 257 \text{ sacos para la lechada de relleno}$$

$$321 \text{ sacos} \times 0.20 = 64 \text{ sacos para la lechada de cola}$$

3) Volúmenes a utilizar

a.- Lechada de relleno, densidad del cemento 15.8 lbs/gal

$$257 \text{ sacos} \times 1.14 \text{ ft}^3/\text{saco} = 292.98 \text{ ft}^3 / 5.615 = 52 \text{ bbls}$$

$$257 \text{ sacos} \times 5.0 \text{ gal/saco} = 1285 \text{ gal} / 42 = 31 \text{ bbls requeridos de agua}$$

b.- Lechada de cola, densidad del cemento = 15.8 lbs/gal

$$64 \text{ sacos} \times 1.14 \text{ ft}^3/\text{saco} = 72.96 \text{ ft}^3 / 5.615 = 13 \text{ bbls}$$

$$64 \text{ sacos} \times 5.0 \text{ gal/saco} = 320 \text{ gal} / 42 = 8 \text{ bbls requeridos de agua}$$

4) Volumen de desplazamiento

Primera parte: volumen interior del drill pipe

$$\text{Volumen 1} = (\Phi_{\text{int drill}}^2 / 1029.4) \times 5.615 \times \text{Longitud del drill pipe}$$

$$\text{Volumen 1} = (4.276^2 / 1029.4) \times 5.615 \times 8860 \text{ ft} = 883.64 \text{ ft}^3$$

Segunda parte: volumen interior del liner

$$\text{Volumen 2} = (\Phi_{\text{int}}^2 / 1029.4) \times 5.615 \times (\text{Longitud de la tubería} - \text{Distancia entre el zapato guía y el collar flotador})$$

$$\text{Volumen 2} = (6.184^2 / 1029.4) \times 5.615 \times (2202 - 40) = 451 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volumen de desplazamiento total} = \text{Volumen de desplazamiento 1} +$$

$$\text{Volumen de desplazamiento 2} = 883.64 \text{ ft}^3 + 451 \text{ ft}^3 = 1334.64 \text{ ft}^3 /$$

$$5.615 = 238 \text{ bls de lodo}$$

5) Orden de Bombeo

a.- Colchón lavador 5 BPM 30 Bls

b.- Lechada relleno 5 BPM 52 Bls

c.- Lechada cola 5 BPM 13 Bls

d.- Vol. Desplaz 5 BPM 238 Bls lodo

Colocar 15 centralizadores

6) Secuencia operacional

- a) Prueba de líneas a 6000 psi
- b) Bombear 30 bbls de Tuned Spacer y Mud flush a 5 bpm
- c) Bombear 52 bbls de lechada de relleno de 15.8 lpg a 5 bpm
- d) Bombear 13 bbls de lechada de cola de 15.8 lpg a 5 bpm
- e) Soltar Pump Down Plug
- f) Iniciar desplazamiento 65 bbls de agua a 5 bpm
- g) Desplazar con 238 bbls de lodo a 5 bpm
- h) Verificar equipo de flotación
- i) Soltar bola e iniciar proceso para expandir liner

7) Accesorios a utilizar

1 zapato guía 7", 1 collar flotador 7", 15 centr 7", 15 rasp 7", 30 anillos tope, 2 cajas suelda fría 1 juego completo doble etapa 7" (baffle o platillo a colocar sobre CF, collar doble etapa, tapón florero, bala, tapón de cierre).

COSTOS

A continuación se presenta los costos de la cementación de cada sección de revestimiento y el costo total de este proceso.

TABLA 4.1 COSTOS DE CEMENTACION DE LA ALTERNATIVA PRESENTADA

Tipo de Revestidor	Numero de sacos para lechada de relleno	Numero de sacos para la lechada de cola	Total de sacos	Tipo de Cemento	Precio por cada saco de cemento	Costo de cementación para cada sección
Superficial 13 ^{3/8"}	1616	404	2020	A	\$ 9.0	\$ 18180
Intermedio 9 ^{5/8"}	1691	422	2113	A	\$ 9.0	\$ 19017
Liner 7"	257	64	321	G	\$ 16.60	\$ 53286

COSTOTOTAL \$90483

ELABORADA POR LOS AUTORES, SEPTIEMBRE 2009.

TABLA 4.2 COSTOS DE CEMENTACION DEL DISEÑO ACTUAL DEL POZO

Tipo de Revestidor	Cantidad En Sacos	Tipo de Cemento	Precio por cada saco de cemento	Costo de cementación para cada sección
Superficial 13 3/8"	2770	A	\$ 9.0	\$ 24930
Intermedio 9 5/8"	860	A	\$ 9.0	\$ 7740
Liner 7"	360	G	\$ 16.60	\$ 5976

COSTO TOTAL \$ 38646

ELABORADA POR LO AUTORES, SEPTIEMBRE 2009.

CONCLUSIONES

- El diseño de Tuberías de revestimiento propuesto en este trabajo cumple con todas las condiciones técnicas requeridas en cuanto a los diferentes Esfuerzos que se presentan en el pozo, lo que lo convierte en un proyecto técnicamente viable.
- La alternativa de diseño presentada en este trabajo muestra una diferencia en cuanto a los tipos y grados de tubería utilizados en el revestidor Intermedio y en el Liner de 7" lo que nos permite reducir los costos en un 16% que equivale a \$270412.44 en relación al diseño actual de revestidores del pozo ESPOL X2-D.
- Otra diferencia de nuestro diseño con el diseño actual, que nos permite reducir costos y es técnicamente viable a la vez, se da en la reducción de la profundidad de asentamiento de la Tubería de revestimiento de 9^{5/8"} lo cual permite a este revestidor instalarse hasta 200 ft por debajo de una formación problemática como la Tiyuyacu.
- Los primeros 10 bbls de desplazamiento se realizarán con agua para separar el cemento del lodo de desplazamiento.

- Para el cálculo de inicial del volumen hemos utilizado por criterio el 80% para la lechada de relleno y el 20% para la lechada de cola.

RECOMENDACIONES

- Se deben considerar los problemas durante la perforación, condiciones del pozo, profundidades de terminación, la temperatura, presión, al diseñar la composición de una lechada de cemento.
- Debido a que muchos factores influyen en el éxito de una operación de cementación primaria, se debe tomar en cuenta el borde del pozo, desviación, propiedades de la formación y compatibilidad con el cemento.
- El perforador encargado debe identificar los tapones de tope y de fondo. Asegurar que los tapones estén instalados apropiadamente en la cabeza de cementación la misma que debe ser instalada en la puerta "V", si es posible.

- Para realizar el diseño de las Tuberías de Revestimiento de un pozo se debe tomar en cuenta los factores limitantes que presenta la compañía operadora como stock de tubería y costos por lo que es necesario realizar un diseño que no solo cumpla con las exigencias técnicas requeridas sino con las condiciones de la Empresa interesada.
- Al determinar la profundidad de asentamiento de cada una de los diferentes revestidores se debe tomar en cuenta las condiciones litológicas de las formaciones atravesadas por el pozo y de la presencia de factores de riesgo como agua re inyectada a través de pozos vecinos lo cual puede acarrear problemas en el desarrollo de los trabajos en el mismo.

APÉNDICES

TABLE NO. 203
DIMENSIONS AND STRENGTHS OF CASING

Size O.D. In.	Grade	Wt. Per Ft. With Cplg., Lb.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		Col. per Resistance PSI	Internal Yield Pressure, PSI**				Body Yield Stgth 1,000 Lbs.		Joint Strength		1000 Lbs **	
				Drift Dia. In.	O.D. of Cplg. In.	Drift Dia. In.	O.D. of Box In.		Plain End or Ext. Line	Round Thread Short	Thread Long	Butt Joints Thd.	Round Thread Short	Thread Long	Butt Joints Thd.	Ext. Line Joint		
7	*F-25	17.00	6.538	6.413	7.656	—	—	1,100	—	1,440	—	—	123	118	—	—	—	—
	H-40	17.00	6.538	6.413	7.656	—	—	1,450	2,310	2,310	—	—	196	122	—	—	—	—
	H-40	20.00	6.456	6.331	7.656	—	—	1,980	2,720	2,720	—	—	230	176	—	—	—	—
	J-55	20.00	6.456	6.331	7.656	—	—	2,270	3,740	3,740	—	—	316	234	—	—	—	—
	J-55	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	4,360	4,360	4,360	4,360	366	284	313	432	499	—
	J-55	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	4,320	4,980	4,980	4,980	4,980	415	334	367	490	506	—
	K-55	20.00	6.456	6.331	7.656	—	—	2,270	3,740	3,740	—	—	316	254	—	—	—	—
	K-55	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	4,360	4,360	4,360	4,360	366	309	341	522	632	—
	K-55	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	4,320	4,980	4,980	4,980	4,980	415	364	401	592	641	—
	C-75	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,270	5,940	—	5,940	5,940	499	—	416	557	632	—
	C-75	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,250	6,790	—	6,790	6,790	566	—	489	631	641	—
	C-75	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	6,760	7,650	—	7,650	7,650	634	—	562	707	685	—
	C-75	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	8,230	8,490	—	8,490	7,930	699	—	633	779	761	—
	C-75	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	9,710	9,340	—	8,660	7,930	763	—	703	833	850	—
	C-75	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	10,680	10,120	—	8,660	7,930	822	—	767	833	917	—
	N-80	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	3,830	6,340	—	6,340	6,340	532	—	447	588	666	—
	N-80	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,410	7,240	—	7,240	7,240	604	—	519	667	675	—
	N-80	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	7,020	8,160	—	8,160	8,160	676	—	597	746	721	—
	N-80	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	8,600	9,060	—	9,060	8,460	745	—	672	823	801	—
	N-80	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	10,180	9,960	—	9,240	8,460	814	—	746	876	895	—
	N-80	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	11,390	10,800	—	9,240	8,460	877	—	814	876	965	—
	C-95	23.00	6.366	6.241	7.656	6.151	7.390	4,150	7,530	—	7,530	7,530	632	—	505	636	699	—
	C-95	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	5,870	8,600	—	8,600	8,600	717	—	593	722	709	—
	C-95	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	7,820	9,690	—	9,690	9,690	803	—	683	808	757	—
	C-95	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	9,730	10,760	—	10,760	10,050	885	—	768	891	841	—
	C-95	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	11,640	11,830	—	10,970	10,050	966	—	853	920	940	—
	C-95	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	13,420	12,820	—	10,970	10,050	1,041	—	931	920	1,013	—
	P-110	26.00	6.276	6.151	7.656	6.151	7.390	6,210	9,960	—	9,960	9,960	830	—	693	853	844	—
	P-110	29.00	6.184	6.059	7.656	6.059	7.390	8,510	11,220	—	11,220	11,220	929	—	797	955	902	—
	P-110	32.00	6.094	5.969	7.656	5.969	7.390	10,760	12,460	—	12,460	11,640	1,075	—	897	1,053	1,002	—
	P-110	35.00	6.004	5.879	7.656	5.879	7.530	13,010	13,700	—	12,700	11,640	1,119	—	996	1,096	1,118	—
	P-110	38.00	5.920	5.795	7.656	5.795	7.530	15,110	14,850	—	12,700	11,640	1,205	—	1,087	1,096	1,207	—
	*V-150	29.00	6.184	6.059	7.656	—	—	9,800	—	—	15,300	15,300	1,267	—	1,049	1,296	—	—
	*V-150	32.00	6.094	5.969	7.656	—	—	13,020	—	—	16,990	15,870	1,398	—	1,180	1,363	—	—
	*V-150	35.00	6.004	5.879	7.656	—	—	16,230	—	—	17,320	15,870	1,526	—	1,311	1,363	—	—
	*V-150	38.00	5.920	5.795	7.656	—	—	19,240	—	—	17,320	15,870	1,644	—	1,430	1,363	—	—

APÉNDICE 1 TABLA DE DIMENSIONES PARA TUBERÍA DE 7".

TABLE NO. 263
DIMENSIONS AND STRENGTHS OF CASING

Nom. O. D. In.	Grade	Wt. Per Ft. With Cplg. Lbs.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		Gal./Pc. Based on 100' Lbs.	Internal Yield Pressure PSI**				Body Yield Strength 1,000 Lbs.	Joint Strength 1000 Lbs.**				
				Drift Dia. In.	O. D. of Cplg. In.	Drift Dia. In.	O. D. of Box In.		Plate Factor or Ext. Line	Round Thread	Thread	Buttress Thd.		Thread & Cplg. Joint		Buttress Thd.	Ext. Line Joint	
							Short							Long	Short			Long
9 5/8	F 25	29.30	9.063	8.902	10.625	—	—	860	—	1,280	—	—	206	185	—	—	—	
	H 40	32.30	9.061	8.945	10.625	—	—	1,400	2,270	2,270	—	—	365	254	—	—	—	
	H 40	36.00	8.921	8.765	10.625	—	—	1,740	2,560	2,560	—	—	410	294	—	—	—	
	J 55	36.00	8.921	8.765	10.625	—	—	2,020	3,520	3,520	3,520	3,520	564	394	453	639	—	
	J 55	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,520	3,950	3,950	3,950	3,950	630	452	520	714	720	
	K 55	36.00	8.921	8.765	10.625	—	—	2,020	3,520	3,520	3,520	3,520	564	423	489	755	—	
	K 55	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,520	3,950	3,950	3,950	3,950	630	486	561	843	975	
	C 75	47.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	2,940	5,390	5,390	5,390	5,390	859	—	694	926	975	
	C 75	43.50	8.755	8.599	10.625	8.525	10.100	3,710	5,930	5,930	5,930	5,930	942	—	776	1,016	975	
	C 75	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	4,610	6,440	6,440	6,440	6,440	1,018	—	852	1,098	1,032	
	C 75	51.50	8.515	8.379	10.625	8.379	10.100	6,190	7,430	7,430	7,430	7,430	1,166	—	999	1,257	1,173	
	N 80	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	3,090	5,750	5,750	5,750	5,750	916	—	737	979	1,027	
	N 80	43.50	8.755	8.599	10.625	8.525	10.100	3,810	6,330	6,330	6,330	6,330	1,005	—	825	1,074	1,027	
	N 80	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	4,750	6,870	6,870	6,870	6,870	1,086	—	905	1,161	1,086	
	N 80	51.50	8.535	8.379	10.625	8.379	10.100	6,470	7,930	7,930	7,930	7,930	1,244	—	1,062	1,329	1,235	
	C 95	40.00	8.835	8.679	10.625	8.599	10.100	3,130	6,870	6,870	6,870	6,870	1,088	—	847	1,074	1,078	
	C 95	43.50	8.755	8.599	10.625	8.525	10.100	4,130	7,510	7,510	7,510	7,510	1,193	—	948	1,178	1,078	
	C 95	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	5,080	8,150	8,150	8,150	8,150	1,289	—	1,040	1,273	1,141	
	C 95	51.50	8.515	8.379	10.625	8.379	10.100	7,310	9,410	9,410	9,410	9,410	1,477	—	1,220	1,458	1,297	
10 3/4	P 110	43.50	8.755	8.599	10.625	8.525	10.100	4,410	8,700	8,700	8,700	8,700	1,381	—	1,106	1,388	1,283	
	P 110	47.00	8.681	8.525	10.625	8.525	10.100	5,310	9,440	9,440	9,440	9,440	1,493	—	1,213	1,500	1,358	
	P 110	51.50	8.515	8.379	10.625	8.379	10.100	7,910	10,900	10,900	10,900	10,900	1,710	—	1,422	1,718	1,544	
	M 150	51.50	8.535	8.379	10.625	—	—	8,970	—	14,860	14,860	2,332	—	1,909	2,371	—	—	
	M 150	58.40	8.435	8.279	10.625	—	—	11,570	—	16,230	16,230	2,532	—	2,098	2,519	—	—	
	M 150	61.10	8.375	8.219	10.625	—	—	13,110	—	17,050	16,560	2,651	—	2,211	2,638	—	—	
	M 150	71.80	8.125	7.969	10.625	—	—	19,640	—	19,560	16,560	3,136	—	2,572	2,692	—	—	
	F 25	32.75	10.192	10.036	11.750	—	—	610	—	1,140	—	—	329	195	—	—	—	
	H 40	32.75	10.192	10.036	11.750	—	—	880	1,820	1,820	—	—	367	205	—	—	—	
	H 40	40.50	10.017	9.861	11.750	—	—	1,420	2,280	2,280	—	—	457	314	—	—	—	
	J 55	40.50	10.050	9.894	11.750	—	—	1,580	3,130	3,130	3,130	3,130	629	420	—	700	—	
	J 55	45.50	9.926	9.770	11.750	9.794	11.470	2,170	3,580	3,580	3,580	3,580	715	451	—	796	924	
	J 55	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	2,730	4,030	4,030	4,030	4,030	801	561	—	891	1,092	
	K 55	40.50	10.050	9.894	11.750	—	—	1,580	3,130	3,130	3,130	3,130	629	450	—	819	—	
	K 55	45.50	9.950	9.794	11.750	9.794	11.470	2,170	3,580	3,580	3,580	3,580	715	528	—	931	1,236	
	K 55	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	2,730	4,030	4,030	4,030	4,030	801	605	—	1,043	1,381	
	C 75	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	3,220	5,490	5,490	5,490	5,490	1,092	754	—	1,160	1,381	
	C 75	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.470	4,020	6,040	6,040	6,040	6,040	1,266	841	—	1,271	1,581	
	N 80	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	3,220	5,860	5,860	5,860	5,860	1,065	804	—	1,278	1,456	
N 80	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.470	4,020	6,450	6,450	6,450	6,450	1,266	891	—	1,345	1,595		
C 95	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	4,020	6,960	6,960	6,960	6,960	1,383	927	—	1,354	1,529		
C 95	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.470	4,910	7,660	7,660	7,660	7,660	1,551	1,037	—	1,483	1,675		
10 7/8	P 130	51.00	9.850	9.694	11.750	9.694	11.470	3,410	8,060	8,060	8,060	8,060	1,401	1,080	—	1,594	1,820	
	P 130	55.50	9.760	9.604	11.750	9.604	11.470	4,310	8,860	8,860	8,860	8,860	1,541	1,201	—	1,745	1,920	
	F 25	47.75	9.660	9.504	11.750	9.504	11.470	5,460	9,760	9,760	9,760	9,760	1,671	1,318	—	1,922	2,000	
	F 25	51.00	9.560	9.404	11.750	—	—	7,420	10,650	10,650	10,650	10,650	2,088	1,472	—	2,077	—	
	F 25	55.50	9.460	9.304	11.750	—	—	9,380	—	12,540	12,540	2,269	—	2,148	—	2,478	—	
	M 150	61.10	9.360	9.204	11.750	—	—	11,340	—	14,500	14,500	2,447	—	2,399	—	—	—	
	M 150	71.80	9.110	8.954	11.750	—	—	15,890	—	19,050	19,050	2,821	—	2,757	—	—	—	
	F 25	32.75	10.192	10.036	11.750	—	—	610	—	1,140	—	—	329	195	—	—	—	
	H 40	32.75	10.192	10.036	11.750	—	—	880	1,820	1,820	—	—	367	205	—	—	—	
	H 40	40.50	10.017	9.861	11.750	—	—	1,420	2,280	2,280	—	—	457	314	—	—	—	

**Minimum Internal and Joint Strengths are minimum values with no safety factor reproduced by permission from API Bull. 5C, Bulletin on Performance Properties of Casing and Tubing.

††††† API Strengths Shown for information only.

APÉNDICE 2 TABLA DE DIMENSIONES PARA TUBERÍA DE 9 5/8" Y 10 3/4"

TABLE NO. 203
DIMENSIONS AND STRENGTHS OF CASING

Size O.D. In.	Grade	Wt. Per Ft. With Cplg. Lb.	Inside Dia. In.	Thread & Cplg.		Extreme Line		Collapse Resist. PSI	Internal Yield Pressure PSI**				Joint Strength - 1000 Lbs.**			
				Drift Dia. In.	O.D. of Cplg. In.	Plain End or Fat Line	Round Thread		Body Yield Stgth. 1000 Lbs.	Thread & Cplg. Joint		Fat Line Joint				
							Short			Long	Short		Long			
11 1/4	F 75	38.00	11.150	10.994	12.750			620	—	1.120	—	270	222	—	—	
	H 40	42.00	11.084	10.928	12.750			1070	1.980	1.980	—	478	307	—	—	
	J 55	47.00	11.000	10.844	12.750			1510	3.070	3.070	—	737	477	807	—	
	J 55	54.00	10.880	10.724	12.750			2070	3.560	3.560	—	850	568	931	—	
	J 55	67.00	10.772	10.616	12.750			2660	4.010	4.010	—	952	649	1042	—	
	K 55	47.00	11.000	10.844	12.750			1510	3.070	3.070	—	737	509	935	—	
	K 55	54.00	10.880	10.724	12.750			2070	3.560	3.560	—	850	606	1079	—	
	K 55	60.00	10.772	10.616	12.750			2660	4.010	4.010	—	952	693	1208	—	
	C 75	60.00	10.772	10.616	12.750			1070	5.460	5.460	—	1298	869	1361	—	
	N 80	60.00	10.772	10.616	12.750			380	5.830	5.830	—	1384	924	1440	—	
C 95	60.00	10.772	10.616	12.750			3440	6.920	6.920	—	1644	1066	1596	—		
13 1/4	F 75	48.00	12.715	12.559	14.375			560	—	1.080	—	338	260	—	—	
	H 40	48.00	12.715	12.559	14.375			770	1.730	1.730	—	541	322	—	—	
	J 55	54.50	12.615	12.459	14.375			1130	2.730	2.730	—	853	514	909	—	
	J 55	61.00	12.515	12.359	14.375			1540	3.090	3.090	—	962	595	1025	—	
	J 55	69.00	12.415	12.259	14.375			1950	3.450	3.450	—	1069	675	1140	—	
	K 55	54.50	12.615	12.459	14.375			1130	2.730	2.730	—	853	547	1038	—	
	K 55	61.00	12.515	12.359	14.375			1540	3.090	3.090	—	962	532	1169	—	
	K 55	68.00	12.415	12.259	14.375			1910	3.450	3.450	—	1069	718	1300	—	
	C 75	72.00	12.347	12.191	14.375			2590	5.040	5.040	—	1558	978	1598	—	
	C 75	77.00	12.275	12.119	14.375			2990	5.400	5.400	—	1662	1054	2054	—	
	C 75	85.00	12.159	12.003	14.375			3810	5.970	5.970	—	1829	1172	2261	—	
	C 75	98.00	11.937	11.781	14.375			5720	6.270	6.270	—	2144	1408	2796	—	
	N 80	77.00	12.347	12.191	14.375			2670	5.380	5.380	—	1661	1040	1693	—	
	N 80	77.00	12.275	12.119	14.375			3150	5.760	5.760	—	1773	1122	2148	—	
N 80	85.00	12.159	12.003	14.375			3870	6.350	6.350	—	1951	1252	2364	—		
N 80	98.00	11.937	11.781	14.375			5910	6.640	6.640	—	2282	1498	2600	—		
C 95	72.00	12.347	12.191	14.375			2820	6.390	6.390	—	1973	1204	1891	—		
H 110	72.00	12.347	12.191	14.375			2880	7.400	7.400	—	2594	1402	2433	—		
H 150	72.00	12.347	12.191	14.375			2890	10.090	10.090	—	3323	1887	2926	—		
16	F 75	51.00	15.326	15.188	17.000			290	—	850	—	384	258	—	—	
	H 40	65.00	15.250	15.042	17.000			670	1.640	1.640	—	736	439	—	—	
	J 55	75.00	15.124	14.916	17.000			1020	2.630	2.630	—	1128	710	1200	—	
	J 55	84.00	15.010	14.827	17.000			1410	2.960	2.960	—	1274	812	1351	—	
	K 55	75.00	15.124	14.916	17.000			1020	2.630	2.630	—	1128	752	1331	—	
	K 55	84.00	15.010	14.827	17.000			1410	2.980	2.980	—	1326	865	1499	—	
	K 55	109.00	14.688	14.500	17.000			2560	3.940	3.940	—	1739	1181	1967	—	
	C 75	109.00	14.688	14.500	17.000			2980	5.340	5.340	—	2377	1492	—	—	
N 80	109.00	14.688	14.500	17.000			3780	5.740	5.740	—	2510	1594	—	—		

**Collapse, internal yield and joint yield strengths are minimum

APÉNDICE 3 TABLA DE DIMENSIONES PARA TUBERÍA DE 11 3/4" Y 13 3/8", 16"



BIBLIOGRAFIA

1. GATLIN C. PETROLEUM ENGINEERING: DRILLING AND WELL COMPLETIONS, PRETICE-HALL INC.,USA, 1965,PP.269-307.
2. PROF. NELSON E. CARDOZO N. CEMENTACIÓN DE POZOS PETROLEROS, PP. 18,27.
3. GANDARA S. DISEÑO DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO, TESIS DE GRADO, ESPOL, 1990, PP. 12-16.
4. DIMENSIONS AND STRENGTHS OF CASING, PROPORCIONADAS POR EL PROFESOR.

